

# Monitoring hochmodularer Faserseile

Forscher entwickeln Seilendverbindung mit integrierter Lastmessung



① HIKE-Seilendverbindung mit integrierter Sensorik

**Im Rahmen eines DFG-Transferprojekts wurde eine Seilendverbindung für hochmodulare Faserseile mit einem Seilennenddurchmesser bis 50 mm zur Marktreife entwickelt. Die in diese Seilendverbindung integrierte Sensorik liefert die Daten für ein intelligentes Monitoring-System.**

Hochmodulare Faserseile werden in naher Zukunft bei der Lösung förder technischer Aufgaben eine immer wichtigere Rolle spielen und Drahtseile ersetzen. Bei den hochmodularen Faserseilen wurden in den letzten Jahrzehnten deutliche Verbesserungen sowohl bei den Fasertechnologien von HMPE, Vectran und Aramiden [1] als auch bei den verwendeten Coatings erzielt. So konnten die Bruchfestigkeit und besonders die Biegeflexibilität um den Faktor 2 gesteigert werden [2].

## Zielsetzung des Transferprojekts

Um die geforderte Betriebssicherheit der Faserseile in förder technischen Systemen zu gewährleisten, muss die Ablegereife der Seile erkannt werden. Bisher wird für Faserseile hauptsächlich die visuelle Kontrolle der Seiloberfläche angewandt. So geben beispielsweise die Seilhersteller Broschüren für die Inspektion heraus, in denen verschiedene Beschädigungszustände des Seils abgebildet sind.

Eine weitere Möglichkeit, die in Zukunft zur Erkennung der Ablegereife genutzt werden kann, ist eine neuartige Endverbindung (auch HIKE-Seilendverbindung genannt) für Faserseile mit integrierter Lastmessung. Diese wurde am Institut für Förder technik und Logistik (IFT) der Universität Stuttgart innerhalb des DFG-Forschungsprojekts „Forschungstransfer einer monolithischen

Seilendverbindung für hochmodulare Faserseile“ entwickelt.

Die Endverbindung zeichnet sich durch ein niedriges Gewicht, eine hohe Widerstandsfähigkeit gegen schwelende Belastungen sowie durch die Übertragung hoher Bruchkräfte aus. Die kompakte Bauform bietet eine bessere Ausnutzung der freien Seillänge. Ein weiterer Vorteil der HIKE-Seilendverbindung besteht darin, dass sie an jedem Faserseil appliziert werden kann, unabhängig von Seilkonstruktion und Fasermaterial. Bild ① zeigt die aktuellen HIKE-Seilendverbindungen, skaliert für Seilennenddurchmesser zwischen 4 mm und 50 mm.

## Kraftmessung mithilfe der HIKE-Seilendverbindung

Durch den monolithischen Aufbau ist es möglich, Sensorik, beispielsweise Dehnmessstrei-

fen, zur Seilzugkraftmessung im Inneren der Endverbindung zu integrieren. Zum Schutz vor Zugbelastung der Messstelle und der Messkabel im Verguss wurde eine 3D-Druckform entworfen, die vor dem Vergießen der Endverbindung in der Vergussform über der Messstelle platziert wird. Die 3D-Druckform ermöglicht es, die Messkabel vom Inneren des Vergusses an die Oberfläche der Seilendverbindung zu führen [3].

Zur Messdatenerfassung und Auswertung wurde ein Demonstrator aufgebaut (Bild 2). Er besteht aus einem Messverstärker, dem Datenerfassungsgerät, einem Mess-PC mit Bildschirm sowie den LabVIEW-Messprogrammen. Die Messprogramme dienen einerseits zur Kalibrierung der Kraft- und Temperaturkennlinien und andererseits zur Echtzeitanzeige sowie Datenspeicherung während der Kraftmessung.

### Nutzung an stehenden Seilen

Um das dynamische Verhalten der intrinsischen Sensorik für stehende Seile zu untersuchen, wurde die Endverbindung einer Zugschwellbelastung mit einer oberen Last von 100 kN (rd. 35 % der MBL - Minimum Breaking Load - Mindestbruchkraft) und einer unteren Last von 40 kN (rd. 14 % der MBL) mit einer Frequenz von 0,5 Hz für 2.700 Schwingspiele belastet. Das Belastungsprofil über vier Schwingspiele und die Messabweichung der Kraftwerte der Endverbindung zur Referenzkraft der Zugprüfmaschine sind im Bild 3 dargestellt.

Die durch die Seilendverbindung gemessene Kraft zeigt dabei ein direktes Ansprechverhalten. Der Kraftverlauf folgt der Referenzkraft ohne Verzögerungen. Die maximale absolute Messwertabweichung, hervorgerufen durch die Hysterese, beträgt 5 %, die allerdings nicht bei den Min./Max.-Werten auftritt, sondern in der Transition dazwischen.

Mithilfe des entwickelten Messprogramms lassen sich die Belastungszyklen, die das Seil im Betrieb erfährt, detektieren. Wird ein definierter Schwellwert der Last mit einer bestimmten Schwingweite überschritten, wird dies als Belastungszyklus gezählt. Basierend auf den ermittelten Zyklen soll somit ein Frühwarnsystem zur Bestimmung der Abergereife von stehenden Seilen ermöglicht werden.

### Nutzung bei laufenden Seilen

Um die entwickelte Sensorik bei laufenden Seilen zu validieren, wurden Dauerbiegeversuche durchgeführt. Bei den Versuchen wurde die Kraft der integrierten Sensorik mit der in der Biegemaschine verbauten Kraftanzeige verglichen, wobei sich eine gute Übereinstimmung zeigte. Temperaturschwankungen werden erfolgreich kompensiert, ohne die Kraftmessung zu beeinflussen. Des Weiteren tritt keine Veränderung der Kraft infolge von Kriecheffekten auf.

Auf der Grundlage der durchgeführten Biegeversuche wurde ein Monitoring-System ent-

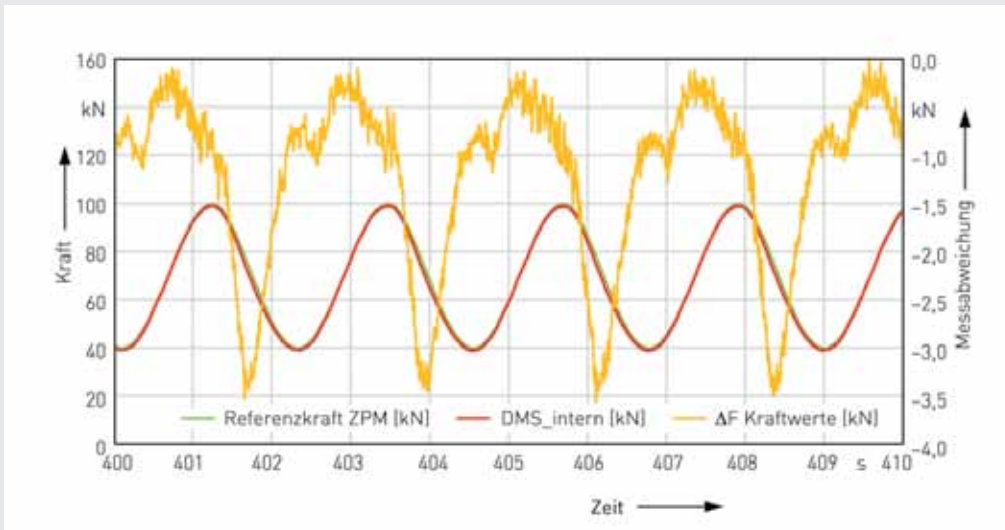


1 Beispiele für HIKE-Seilendverbindungen

wickelt, das bei kritischen Zuständen automatisch eine Warnmeldung per E-Mail versendet. Hierfür wird die Steigung des Kraftverlaufs permanent gemessen. Kommt es zu einem vorher definierten kritischen Kraftabfall, sendet die Messbox eine Warnmeldung mit Informationen über die aktuelle Kraft, die Biegewechselzahl sowie einen Ausschnitt des Kraftverlaufs (s. Beispiel im Bild 4).

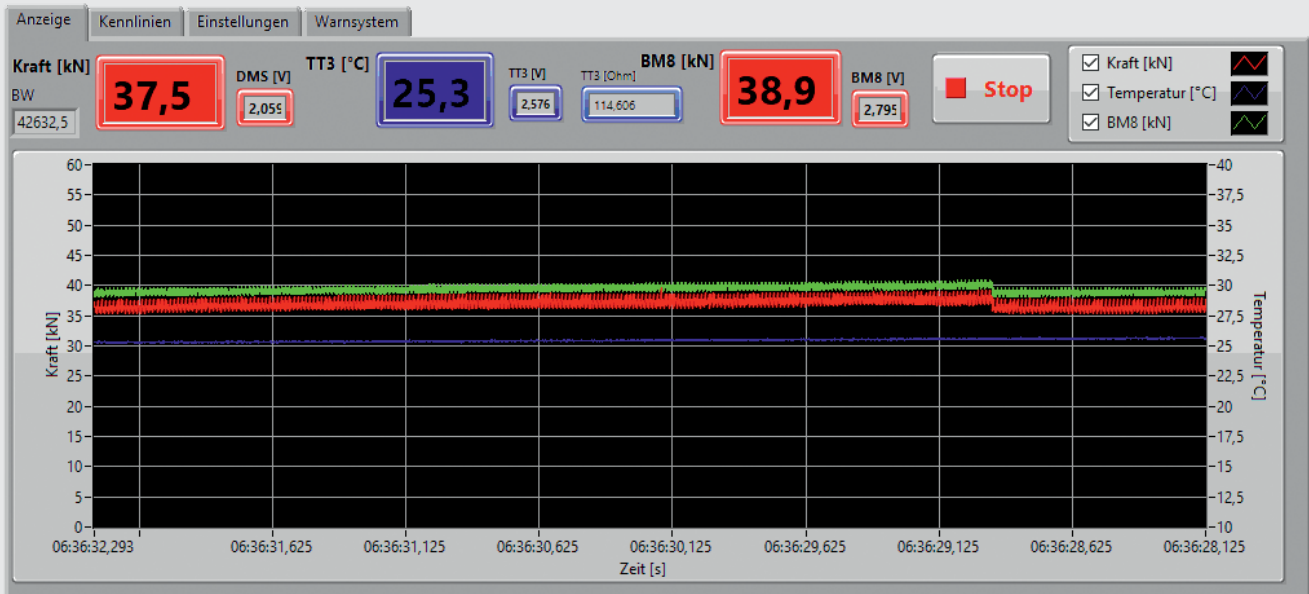
### Ausblick auf Nutzungsmöglichkeiten

Die erfolgreich entwickelte und getestete intrinsische Sensorik in der HIKE-Seilendverbindung bietet die Möglichkeit, in einer kompakten Bauform die Seilkraft von hochmodularen Faserseilen zu messen und zu analysieren. Durch ein innovatives Monitoring soll eine vorbeugende Instandhaltung der Seilzugglieder gewährleistet werden, indem durch eine Warneinrichtung dem Gesamtsystem frühzeitig kritische Zustände übermittelt werden. Dies erhöht die Verfügbarkeit der Anlage und optimiert die Wartungs- und Instandhaltungskosten.



3 Kraftmessung während eines Zugschwellversuchs [3]

IFT



4 Monitoring-System: Meldung eines kritischen Zustands

IFT

Ein potenzieller Ansatz für ein theoretisches Lebensdauermodell ist die Erfassung und Auswertung von Lastkollektiven. So lassen sich beispielsweise in Regalbediengeräten mithilfe der HIKE-Seilendverbindung einerseits die gefahrenen Zyklen zählen und andererseits Belastungen detektieren, die größer als die Grundlast sind. Durch die Ermittlung der Lebensdauer im Dauerbiegeversuch kann für das Seil und den spezifischen Anwendungsfall ein Ablegekriterium festgelegt werden, wann das Seil auszutauschen ist.

Mithilfe der im Jahr 2021 in Betrieb gehenden neuen Faserseilbiegemaschine am IFT wird es möglich sein, Lastkollektive im Dauerbiegeversuch zu fahren. Auf dieser Basis kann das Lebensdauermodell realitätsnah weiterentwickelt und validiert werden.

### Literatur

- [1] McKenna, H.; Hearle, J.; O’Hear, N.: Handbook of fibre rope technology. Woodhead Publishing, Great Abington Cambridge, 2004.
- [2] Bunsell, A. R.: Handbook of tensile properties of textile and technical fibres. Woodhead publishing in textiles no. 91, 2009. Woodhead Publishing in association with the Textile Institute; CRC Press, Cambridge, UK, Boca Raton, FL.
- [3] Müller, M.: DMS-Integration in HIKE-Seilendverbindung für ein intelligentes Monitoring der Kraft bei hochmodularen Faserseilen zur vorbeugenden Instandhaltung. Universität Stuttgart, Masterarbeit 2019.

M.Sc. Benedikt Franck,  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter am  
Institut für Fördertechnik und  
Logistik (IFT) der Universität  
Stuttgart

